

**НЕКОТОРЫЕ ПРИЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
КРАТКОСРОЧНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ****Коваленко Наталья Николаевна, к.т.н., доцент,****Полесский государственный университет**Kovalenko Natalia, PhD, Polessky State University, [kovalenkn@yandex.by](mailto:kovalenkn@yandex.by)

**Аннотация.** В статье рассматривается методика краткосрочного прогнозирования работы водозабора для напорных вод, дается обоснование структуры прогноза.

**Ключевые слова:** водозабор, математическое моделирование, краткосрочный прогноз, напорные воды.

Одной из главных задач эксплуатационной разведки является периодическая переоценка эксплуатационных запасов подземных вод. На многих действующих водозаборах эксплуатационные возможности водоносных горизонтов используются недостаточно. Наряду с этим, на площади влияния водозабора нередко возникают неблагоприятные последствия, вызванные эксплуатацией подземных вод. И в том, и в другом случае переоценка запасов необходима для выбора оптимального режима эксплуатации, обеспечивающего наиболее полное использование эксплуатационных возможностей.

Точность полученных в процессе переоценки рекомендаций по поддержанию рационального режима эксплуатации, охватывающего периоды упреждения несколько лет (долгосрочный прогноз), во многом определяются качеством исходной информации, адекватностью выбранной расчетной схемы, степенью изменения геологических и технических факторов в процессе эксплуатации подземных вод. В силу вышеуказанных причин, выбранный оптимальный вариант по долгосрочному прогнозу нуждается в систематическом уточнении. Эта задача может быть решена на основе краткосрочного прогноза, с периодом упреждения до 2 лет. Такие прогнозы позволяют вести оперативное управление работой водозабора с учетом особенностей технологии и сезонных изменений суммарного водозабора. Они отличаются простотой, поскольку не требуют длительных рядов наблюдений, а изменение некоторых природных факторов в процессе разработки (изменение граничных условий пласта в плане, перетоков из выше и ниже лежащих горизонтов и др.) в пределах таких отрезков времени могут рассматриваться как постоянные или не учитываться вообще.

Для расчета водозабора существует прием, основанный на представлении групп взаимодействующих скважин в виде, так называемых, обобщенных систем [1, с. 47]. Сущность этого метода состоит в том, что реальные группы скважин заменяются бесконечным множеством линейных источников с постоянным расходом, равномерно распределенным по контуру. Таким образом большое количество скважин заменяется одним укрепленным сооружением («большим колодцем»), понижение уровня в котором для каждой водозаборной скважины может быть представлено суммой понижений, вызванный действием обобщенной системы и скважины. Однако, как показывает опыт эксплуатации, представление системы взаимодействующих скважин в виде обобщенных систем, может привести к существенным ошибкам в расчетах в том случае, если распределение

суммарного водоотбора между скважинами неравномерное и изменяется во времени. В этом случае необходимо дополнительно учитывать понижение уровня в рассматриваемой скважине в зависимости от работы соседних.

Сезонные изменения суммарного водоотбора, капитальный и текущий ремонт скважин, всегда присутствующие в практике изменения технологических схем коммуникаций и режимов эксплуатации, приводят к систематическому перераспределению общей производительности водозабора между скважинами или группами скважин. Иными словами, принятое допущение о равномерном распределении дебита не выдерживается.

Рассмотрим задачу применительно к напорным водам при условии квазистационарного режима фильтрации в следующей постановке:

- водозабор подземных вод состоит из  $N$  взаимодействующих скважин;
- скважины расположены в виде линейного ряда с шагом  $b$ ;
- прогнозная производительность  $i$ -ой скважины, при  $i$  изменяющемся от 1 до  $N$ , описывается дебитом  $Q_i$ ;

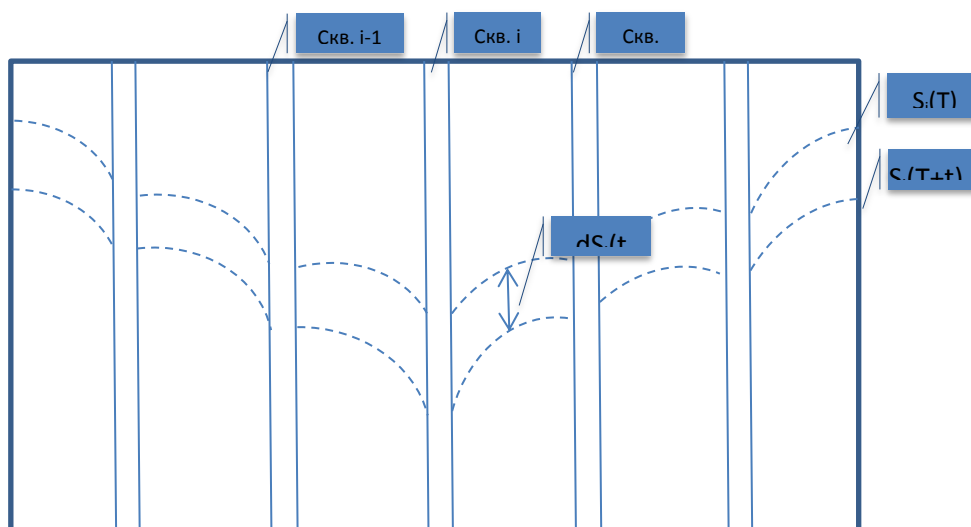


Рисунок 1 Расчетная схема

- положение уровня подземных вод  $S_i(T)$  на момент времени  $T$  от начала эксплуатации водозабора в  $i$ -ой скважине определяется как суммарная срезка [2, с. 195] (рис. 1).

$$S_i(T) = \frac{Q_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25 a^* T}{r_i^2} + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25 a^* T}{R_{ij}^2} \quad (1)$$

где:

$a^*$ ,  $k_m$  – пьезопроводность и водопроводимость пласта соответственно;

$Q_j$  – дебит  $j$ -ой взаимодействующей скважины, находящейся на расстоянии  $R_{ij}$  от  $i$ -ой скважины;

$r_i$  – приведенный радиус скважины с учетом скин-эффекта.

Положение уровня в этой же скважине на момент  $T+t$  от начала эксплуатации ( $t$  – продолжительность прогнозного периода), при условии изменения дебита водозабора и перераспределения нагрузок между скважинами, можно определить:

$$S_i(T+t) = \frac{Q_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*(T+t)}{r_i^2} + \frac{dQ_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{r_i^2} + \\ + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*(T+t)}{R_{ij}^2} + \sum_{j=1}^N \frac{dQ_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{R_{ij}^2} \quad (2)$$

где  $dQ_i$  и  $dQ_j$  изменения дебита рассматриваемой  $i$ -ой и взаимодействующих с ней  $j$ -ых скважин соответственно, при ограничении:

$$\frac{R_{ij\max}^2}{4a^*t} < 0.1 \quad (3)$$

Изменения уровня в  $i$ -ой скважине за прогнозный период определится как разница уровней:

$$dS_i(t) = S_i(T+t) - S_i(T) \quad (4)$$

Подставив в (4) равенства (1) и (2), а также используя свойства логарифмов, после некоторых преобразований (4) примет вид:

$$dS_i(t) = \frac{Q_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{(T+t)}{T} + \frac{dQ_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{r_i^2} + \\ + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{(T+t)}{T} + \sum_{j=1}^N \frac{dQ_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{R_{ij}^2} \quad (5)$$

При соотношении  $t < 0.1T$  с точностью не ниже 10% справедливо равенство:  $\ln \frac{(T+t)}{T} = \frac{t}{T}$  и потому (5) перепишется в виде:

$$dS_i(t) = \frac{Q_i t}{4\pi k_m T} + \frac{dQ_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{r_i^2} + \sum_{j=1}^N \frac{Q_j t}{4\pi k_m T} + \sum_{j=1}^N \frac{dQ_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{R_{ij}^2} \quad (6)$$

Учитывая, что суммарный водозабор  $Q_{\text{сум}} = Q_i + \sum_{j=1}^N Q_j$ , получим

$$dS_i(t) = \frac{Q_{\text{сум}} t}{4\pi k_m T} + \frac{dQ_i}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{r_i^2} + \sum_{j=1}^N \frac{dQ_j}{4\pi k_m} \cdot \ln \frac{2.25a^*t}{R_{ij}^2} \quad (7)$$

В равенстве (7) первое слагаемое представляет собой темпы снижения уровня  $V$  от работы всей системы скважин, а второе и третье – дополнительные понижения, вызванные изменением дебита рассматриваемой скважины и взаимодействующих с ней других скважин соответственно. Отобразив этот факт получаем:

$$dS_i(t) = V \cdot t + \frac{dQ_i}{2\pi k_m} \cdot \ln \frac{R_0}{r_i} + \sum_{j=1}^N \frac{dQ_j}{2\pi k_m} \cdot \ln \frac{R_0}{R_{ij}} \quad (8)$$

где  $R_0 = 1.5\sqrt{a^*t}$  – радиус влияния скважины.

Учитывая, что  $R_{ij}$  является кратным шагом  $b$ , и после соответствующих преобразований (8) можно переписать в виде:

$$dS_i(t) = V \cdot t + \frac{dQ_i}{2\pi k_m} \cdot \ln \frac{b}{r_i} + \frac{dQ_{bi}}{2\pi k_m} \left( \ln \frac{R_0}{b} + \sum_{j=1}^N \frac{\ln j}{j+1} \right) \quad (9)$$

Введем обозначения:

- удельное понижение скважины:  $S_i^* = \frac{1}{2\pi k_m} \cdot \ln \frac{b}{r_i}$  ;
- удельное понижение блока скважин:  $C_i^* = \frac{1}{2\pi k_m} \cdot \ln \frac{R_0}{R_{np}}$  ;
- приведенный радиус блока скважин:  $R_{np} = b \cdot e^{\sum_{j=1}^N \frac{\ln j}{j+1}}$
- суммарное изменение дебита блока скважин:  $dQ_{bi} = dQ_i + \sum_{j=1}^N dQ_j$  .

С учетом введенных обозначений (9) примет вид:

$$dS_i(t) = V \cdot t + dQ_i \cdot S_i^* + dQ_{bi} \cdot C_i^* \quad (10)$$

Константы  $S_i^*$  и  $C_i^*$  определяются по данным режимных наблюдений за уровнем и дебитом в эксплуатационных скважинах, темпы снижения  $V$  – по скважинам режимной сети за прошедший период и экстраполяцией их на прогнозируемый.

Описанная методика краткосрочного прогнозирования была проверена на ретроспективных данных эксплуатации водозабора подземных вод «Куюлус» (г. Актау, Казахстан), а также использована при оценки запасов минеральных вод Березовского участка Кисловодского месторождения (Россия, Ставропольский край) [2, с. 170]. Сопоставление фактических и расчетных значений динамического уровня показали хорошую сходимость результатов. При этом, точность определения уровня составляла 7–8%.

#### **Список использованных источников:**

1. Бочеввер М.Ф. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М., “Недра”, 1968, 325с.
2. Техногенные процессы в подземных водах (биосферный подход, диагностика и управление) / Под ред. Проф. И.К. Гавич. – М.: Научный мир, 2003. – 248с.